

4



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 100 40 446.4

Anmeldetag: 18. August 2000

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft,
München/DE

Bezeichnung: Kaskadierbare optische Verstärkeran-
ordnung

IPC: G 02 F 1/39

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 31. Mai 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Hiebinger

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Beschreibung

Kaskadierbare optische Verstärkeranordnung

5

Das rasante Wachstum des Datenverkehrs, insbesondere in der Weitverkehrstechnik, erfordert eine Erhöhung der Übertragungskapazität von derzeitigen und zukünftigen Übertragungssystemen. Hierzu werden optische Übertragungssysteme in Wellenlängen-Multiplexbetrieb (WDM) betrieben, bei denen optische WDM-Signale in einzelnen Kanälen bzw. WDM-Kanälen übertragen werden. Diese Technologie stellt derzeit die bevorzugte Lösung zur Umsetzung der geforderten Übertragungskapazitätswachse dar.

15

Für eine fehlerfreie Übertragung von WDM-Signalen sind in der Empfangseinheit des optischen Übertragungssystems einen konstanten Wert aufweisende Kanalpegel bzw. WDM-Kanalpegel erforderlich, wodurch mit zunehmender WDM-Kanalzahl, insbesondere bei einer Übertragung von mehreren WDM-Signalen, die in der optischen Faser zu übertragende Summenleistung zunimmt. Ein Anstieg der Summenleistung in der optischen Faser erfordert jedoch optische Verstärkeranordnungen mit höheren Ausgangsleistungen. Neben der hohen Ausgangsleistung ist es insbesondere für optische Verstärkeranordnung erforderlich, ein flaches Gewinnspektrum über einen weiten Wellenlängenbereich aufzuweisen. Insbesondere erfordern Inline-Verstärkeranordnungen eine rauscharme Realisierung der geforderten Verstärkungsleistung sowie eine Kompensation der dynamischen Gewinnverkipfung, mit deren Hilfe eine Kompensation von unterschiedlichen Streckendämpfungen realisierbar ist.

30

Des Weiteren ist es erforderlich, daß derartige optische Inline-Verstärkeranordnungen einen Zwischenabgriff zum Einfügen von Dispersionskompensationseinheiten oder optischen Filtern für das Abzweigen bzw. Einfügen von optischen WDM-Signalen bzw. WDM-Kanälen aufweisen.

35

Zur Realisierung derartiger optischer Verstärker bzw. Verstärkeranordnungen mit hohen Ausgangsleistungen sind bisher im wesentlichen drei Ansätze bekannt bzw. wurden vorgeschlagen. Einer der Ansätze basiert auf der konventionellen Einmodentechnik. Die erforderlichen hohen Pumpleistungen des optischen Verstärkers werden durch das Zusammenkoppeln des Ausgangssignals mehrerer Pumplaserdioden mit Monomodenfaserausgängen bereitgestellt, wobei die Pumpwellenlängen im Wellenlängenbereich um 1480 nm liegen. Als Koppellemente dienen hierbei Polarisationskoppler und Bandweichen bzw. wellenlängenselektive Multiplexer. Die derartig erzeugte Pumpleistung wird über einen wellenlängenselektiven Multiplexer in die aktive Faser, beispielsweise eine Erbium dotierte optische Faser, eingekoppelt - siehe hierzu Y. Tasiro et.al. "1.5 W Erbium Doped Fiber Amplifier Pumped by the Wave Length Devision-Multiplexed 1480 nm Laser Diodes with Fiber Bragg Grating", Technical Digest of the Conference on Optical Amplifiers and their Applications (1998), WC2-1, Seiten 213 bis 215.

Ein weiterer Ansatz besteht darin, die hohe Pumpleistung mit Hilfe eines Raman-Pumplasers zu erzeugen - siehe hierzu G.R. Jacobotic - Weselka et.al. : "A 5.5-W.Single-Stage-Single Pumped Erbium-Doped Fiber Amplifier at 1550 nm", Technical Digest of the Conference on Optical Amplifiers and their Applications (1997), PD3, Seiten 1-4. Hierbei dienen als primäre Strahlungsquellen einzelne Halbleiterlaserdioden bzw. Diodenzeilen im Wellenlängenfenster um 900 nm mit deren Hilfe kostengünstig hohe Ausgangsleistungen erzeugt werden können. Deren Ausgangssignal wird nicht in eine Monomodenfaser eingekoppelt, sondern per Freistrahlsignal oder über eine Multimodenfaser in den inneren Mantel einer speziellen aktiven optischen Faser mit doppeltem Mantel eingespeist. Der innere Mantel führt die Pumpstrahlung mehrmodig und ermöglicht somit eine einfache und effiziente Einkopplung der Pumpstrahlung. Der Kern der aktiven optischen Faser ist mit Dotierionen dotiert.

Diese absorbieren die Pumpstrahlung und emittieren bei längeren Wellenlängen, typischerweise um 1060 bzw. 1100 nm, wodurch optische Signale in diesem Wellenlängenbereich eine Verstärkung erfahren. Hierbei werden mit Hilfe eines Resonators Laseroszillationen bei den Emissionswellenlängen erzeugt. Da die aktive Faser die Emissionsstrahlung einmodig führt, läßt sich diese in Monomodenfasertechnik weiterverarbeiten. Zur Umwandlung der Pumpstrahlung in den zum Pumpen der optischen Verstärkeranordnung erforderlichen Wellenlängenbereiche dienen Raman-Kaskadenlaser.

Die beschriebene Mehrmodentechnik kann zum direkten Pumpen der aktiven optischen Faser eines optischen Verstärkers eingesetzt werden. Bei einer derartigen Realisierungsform weist die aktive Faser des optischen Verstärkers selbst einen inneren Mantel auf, der die Pumpstrahlung mehrmodig führt und eine einfache Einkoppplung der Pumpstrahlung ermöglicht. Neben den für den Verstärkungsprozess erforderlichen Dotierionen befinden sich im Kern weitere Ionen. Deren Aufgabe ist es, die Pumpstrahlung zu absorbieren und sie durch nicht strahlende Transferprozesse an die Verstärkerionen weiterzugeben.

Den beschriebenen Realisierungsformen von optischen Verstärkern hoher Ausgangsleistung ist gemein, daß diese bisher im wesentlichen für den Aufbau kompletter Boosterverstärker geeignet sind. Derartige Boosterverstärker weisen Summeneingangsleistungen um 0 dBm und Summenausgangsleistung von ca. 27 dBm bis über 33 dBm auf.

Des Weiteren ist ein Verfahren bzw. eine Verstärkeranordnung zur schrittweisen Aufrüstung der Ausgangsleistung von optischen Verstärkern bekannt, bei dem eine in konventioneller Einmodentechnik realisierte und nicht bestückte Pumpeingänge aufweisende Verstärkeranordnung und zusätzliche externe Pumpquellen vorgesehen sind. Bei diesem Ansatz weist die schrittweise aufrüstbare optische Verstärkeranordnung intern alle für den Normalbetrieb erforderlichen Komponenten, d.h. eine

lange aktive Faser, Pump-WDM-Koppler etc., auf, wobei jedoch für die Erhöhung der Ausgangsleistung der Verstärkeranordnung weitere externe Pumplaser bzw. -quellen an die bestehenden Pumpeingänge angeschlossen werden können. Bei geringen Kanal-

5 zahlen bzw. wenigen zu übertragenden WDM-Signalen wird durch die optische Verstärkeranordnung die geforderte Ausgangsleistung ohne das Zuschalten von zusätzlichen externen Pumpquellen erzeugt. Eine beispielsweise bei einer Verdopplung der WDM-Kanalzahl erforderliche Steigerung der Ausgangsleistung

10 der optischen Verstärkeranordnung wird durch die Einkopplung extern erzeugter Pumpstrahlung bzw. Pumpsignale über die Pumpeingänge bzw. über die nach außen geführten Eingangsarme der intern bereits vorhandenen Pump-WDM-Koppler in die aktive Faser möglich.

15

Bei der erstmaligen Inbetriebnahme von optischen Übertragungssystemen bzw. optischen Übertragungsstrecken wird üblicherweise nicht die volle Kanalzahl bzw. WDM-Kanalzahl ausgeschöpft, d.h. zunächst werden nur wenige optische WDM-Signale

20 bzw. WDM-Kanäle über die optische Übertragungsstrecke übertragen. Daher sollten optische Verstärkeranordnungen hinsichtlich ihrer Ausgangsleistung modular aufrüstbar sein und somit eine schrittweise Erhöhung der optischen WDM-Kanalzahl ermöglichen. Ist die Kanalzahl bzw. die Anzahl der optischen

25 WDM-Signale beim erstmaligen Betrieb der optischen Übertragungsstrecke noch gering, so können kostengünstige optische Verstärkeranordnungen eingesetzt werden. Bei einer steigenden Übertragungskapazitätsanforderung, d.h. einer steigenden WDM-Kanalzahl, ist es erforderlich, daß die optische Verstärker-

30 anordnung kostengünstig stufenweise hochrüstbar ist, um die jeweiligen für die höhere Kanalzahl erforderlichen Ausgangsleistungen zu liefern.

35

Die Aufgabe der Erfindung ist es, eine kaskadierbare optische Verstärkeranordnung anzugeben, die eine schrittweise Steigerung der Ausgangsleistung einer modular und in Einmodentechnik aufgebauten Basisverstärkeranordnung ermöglicht. Die Auf-

gabe wird ausgehend von einer kaskadierten optischen Verstärkeranordnung gemäß den Merkmalen des Patentanspruches 1 gelöst.

- 5 Der wesentliche Vorteil der erfindungsgemäßen kaskadierbaren optischen Verstärkeranordnung ist darin zu sehen, daß an eine modular und in Einmodentechnik aufgebaute Basisverstärkeranordnung, die mindestens eine Verstärkerstufe aufweist, eine an die mindestens eine Verstärkerstufe der Basisverstärkeranordnung anschaltbare vorgesehen ist, welche eine eigene aktive Faser und mindestens eine Pumpsignalquelle aufweist. Die erfindungsgemäße kaskadierbare optische Verstärkeranordnung zur Leistungsaufrüstung durch zumindest eine zusätzliche Hochleistungsverstärkerstufe weist gegenüber dem bekannten
- 10 Konzepten mit externen Pumpquellen insbesondere den Vorteil auf, daß eine Aufrüstung in mehreren Stufen durchgeführt werden kann und somit die jeweils verfügbare und am kostengünstigsten realisierbare Verstärkertechnologie zur Realisierung einer weiteren Hochleistungsverstärkerstufe eingesetzt werden
- 15 kann. Hierdurch werden Technologien für hohe Ausgangsleistung nutzbar, die bei der Inbetriebnahme des Basisverstärkers noch nicht zur Verfügung standen. Die Basisverstärkeranordnung weist die für die beim Aufbau der optischen Übertragungsstrecke erforderliche Ausgangsleistung und die zur Realisierung hierfür erforderlichen Verstärkerkomponenten auf, wodurch eine sehr kostengünstige technische Realisierung der Basisverstärkeranordnung ermöglicht wird, d.h. ein Netzkunde muß erst bei einer späteren Aufrüstung durch die erfindungsgemäßen Hochleistungsverstärkerstufen für die zusätzliche Ausgangsleistung der kaskadierbaren optischen Verstärkeranordnung bezahlen.
- 20
- 25
- 30

- Desweiteren ermöglicht die erfindungsgemäße kaskadierbare optische Verstärkeranordnung die Nachrüstung von optischen Übertragungssystemen, die ursprünglich nicht für eine Aufrüstung hinsichtlich der optischen Ausgangsleistung vorgesehen
- 35

waren bzw. deren optische Verstärker keine Vorkehrungen zur Steigerung der Ausgangsleistung aufweisen.

Vorteilhaft ist mindestens eine weitere Hochleistungsverstärkerstufe an die an den Basisverstärkeranordnung angeschlossene Hochleistungsverstärkerstufe anschließbar - Anspruch 2. Durch die erfindungsgemäße Kaskadierung derartiger Hochleistungsverstärkerstufen wird eine schrittweise Erhöhung der Ausgangsleistung der optischen Verstärkeranordnung möglich.

Die nachgeschalteten Hochleistungsverstärkerstufen weisen einen vergleichsweise geringen Gewinn auf, woraus sich ein relativ einfacher technischer Aufbau ergibt. Der Einsatz von optischen Isolatoren in den jeweiligen Hochleistungsverstärkerstufen ist aufgrund des genannten geringen Gewinns nur in Ausnahmefällen erforderlich, insbesondere falls die vorhandene Basisverstärkeranordnung bereits an ihrem Ausgang über einen optischen Isolator verfügt.

Des Weiteren weisen die Hochleistungsverstärkerstufen besonders vorteilhaft jeweils eine eigene Verstärkungsregelung und/oder Leistungsregelung auf - Anspruch 3, die sowohl optoelektronisch als auch rein optisch realisiert sein kann - Anspruch 4. Mit Hilfe der Verstärkungsregelung und/oder Leistungsregelung können die nachgeschalteten bzw. kaskadierten Hochleistungsverstärkerstufen an die Anforderungen des jeweiligen Einsatzortes innerhalb des optischen Übertragungsnetzes angepaßt werden.

Besonders vorteilhaft ist zur Einebnung des Gewinnspektrums des zu verstärkenden optischen Signals ein der aktiven Faser der Hochleistungsverstärkerstufen vorgeschaltetes Filter vorgesehen - Anspruch 6. Die zur Abflachung des Gewinnspektrums erforderlichen zusätzlichen optische Filtereinheiten können einfach und kostengünstig realisiert werden, da sie keinen speziellen technischen Anforderungen genügen müssen. Ein flaches Gewinnspektrum der erfindungsgemäßen Hochleistungsstufe ist zusätzlich durch eine Optimierung der Verstärkereigen-

schaften bzw. der aktiven Faser der Hochleistungsverstärkerstufen realisierbar.

Die Erfindung soll im folgenden anhand mehrerer Prinzipschaltbilder näher erläutert werden.

Figur 1 zeigt beispielhaft den prinzipiellen Aufbau einer möglichen Basisverstärkeranordnung,

Figur 2 zeigt eine mögliche Realisierungsform einer ersten Hochleistungsverstärkerstufe, und

Figur 3 zeigt eine weitere Realisierungsform einer zweiten Hochleistungsverstärkerstufe.

In Figur 1 ist beispielhaft eine in Einmodentechnik realisierte Basisverstärkeranordnung BVA mit einer ersten rauscharmen Verstärkerstufe VS1, einer zweiten Verstärkerstufe VS2, einer dritten Verstärkerstufe VS3 und einer vierten Verstärkerstufe VS4 dargestellt, wobei zur Kompensation der dynamischen Gewinnverkipfung ein variabel einstellbares Dämpfungsglied VDG und zur Dispersionskompensation eine Dispersionskompensationseinheit DCF vorgesehen sind. Die Basisverstärkeranordnung BVA weist einen Eingang I und einen Ausgang O auf, wobei der Eingang I zugleich der Eingang der ersten rauscharmen Verstärkerstufe VS1 ist. Die erste Verstärkerstufe VS1 weist einen ersten optischen Isolator OI1, einen ersten Einkoppelpunkt KP1, eine erste aktive Faser AF1 und einen zweiten optischen Isolator OI2 auf. Der erste optische Isolator OI1 ist mit dem Eingang I der optischen Basisverstärkeranordnung BVA verbunden und dessen Ausgang ist an den Eingang des ersten Einkoppelpunktes KP1 angeschlossen. An den Ausgang des ersten Einkoppelpunktes ist der Eingang der ersten aktiven Faser AF1, beispielsweise eine Erbium-dotierte Faser, angeschlossen. An den Einkoppelpunkt des ersten Einkoppelpunktes KP1 ist die erste Pumpquelle PQ1 angeschlossen. Des Weiteren ist an den Ausgang der ersten aktiven Faser AF1 der zweite optische Isolator OI2 geführt. Im Anschluß an die erste Verstärkerstufe VS1 ist das zur Kompensation der dynami-

schen Gewinnverkipfung vorgesehene variabel einstellbare Dämpfungsglied VDG angeordnet. An das variable Dämpfungsglied VDG schließt sich die zweite Verstärkerstufe VS2 an.

- 5 Die zweite Verstärkerstufe VS2 weist ein erstes optisches Filter F1, eine zweite aktive Faser AF2, vorzugsweise mit einer Erbium-dotierten aktiven Faser, einen zweiten Einkoppel-
- 10 punkt KP2, eine zweite Pumpquelle PQ2 sowie einen dritten optischen Isolator OI3 auf. Das erste Filter F1 ist im Anschluß an das variable Dämpfungsglied VDG angeordnet und dient zur
- Einebnung des Signalsspektrums des zu übertragenden optischen
- 15 Signales OS. An den Ausgang des ersten optischen Filters F1 ist die zweite aktive Faser AF2 angeschlossen, an deren Ausgang wiederum der Eingang des zweiten Einkoppelpunktes KP2
- geführt ist. Der Ausgang des zweiten Einkoppelpunktes KP2 ist mit dem Eingang des dritten optischen Isolators OI3 verbunden. Des Weiteren ist die zweite Pumpquelle PQ2 an den Ein-
- 20 koppel- eingang des zweiten Einkoppelpunktes KP2 angeschlossen.
- Zwischen die zweite Verstärkerstufe VS2 und die dritte Ver-
- 25 stärkerstufe VS3 ist im dargestellten Ausführungsbeispiel beispielsweise die Dispersionskompensationseinheit DCF eingeschaltet, wobei auch zusätzliche Dispersionskompensationseinheiten DCF auch zwischen weiteren Verstärkerstufen VS1 bis VS4 möglich sind.

- Die dritte Verstärkerstufe VS3 weist einen vierten optischen Isolator OI4, einen dritten Einkoppelpunkt KP3, eine dritte Pumpquelle PQ3, eine dritte aktive Faser AF3 und ein zweites
- 30 optisches Filter F2 auf. In dem in Figur 1 dargestellten optischen Basisverstärker BVA ist die dritte Verstärkerstufe VS3 unmittelbar an die Dispersionskompensationseinheit DCF angeschlossen, wobei hier der vierte optische Isolator OI4 an den Ausgang der Dispersionskompensationseinheit DCF geführt
- 35 ist. Der Ausgang des vierten optischen Isolators OI4 ist mit dem dritten Einkoppelpunkt KP3 verbunden. Der Ausgang des dritten Einkoppelpunktes KP3 ist mit dem Eingang der dritten

aktiven Faser AF3 verbunden und der Einkoppeleingang des dritten Einkoppelpunktes KP3 ist an die dritte Pumpquelle PQ3 angeschlossen. Der Ausgang der dritten aktiven Faser AF3 ist an den Eingang des zweiten optischen Filters F2 geführt. An
5 den Ausgang des zweiten optischen Filters F2 ist die vierte Verstärkerstufe VS4 angeschlossen, welche einen vierten Einkoppelpunkt KP4, eine vierte aktive Faser AF4 und einen fünften Einkoppelpunkt KP5 sowie einen fünften optischen Isolator OI5 und einevierte und fünfte Pumpquelle PQ41, PQ42 aufweist.
10 Der Eingang des vierten Einkoppelpunktes KP4 ist mit dem Ausgang des zweiten optischen Filters F2 der dritten Verstärkerstufe VS3 verbunden. An den Ausgang des vierten Einkoppelpunktes KP4 ist der Eingang der vierten aktiven Faser AF4 angeschlossen, deren Ausgang an den Eingang des fünften Einkoppelpunktes KP5 geführt ist. Der Einkoppeleingang des vierten
15 Einkoppelpunktes KP4 ist mit der vierten Pumpquelle PQ41 verbunden. Des Weiteren ist der Einkoppeleingang des fünften Einkoppelpunktes KP5 mit der fünften Pumpquelle PQ42 verbunden. An den Ausgang des fünften Einkoppelpunktes KP5 ist der
20 Eingang des fünften optischen Isolators OI5 angeschlossen, dessen Ausgang zum Ausgang O der optischen Basisverstärkeranordnung BVA geführt ist.

Die in Figur 1 dargestellte Basisverstärkeranordnung BVA
25 stellt eine von vielen möglichen Ausgestaltungen unterschiedlichster Basisverstärkeranordnungen BVA dar, wobei insbesondere Booster-, Vorverstärker sowie Inlineverstärker leicht unterschiedliche Ausgestaltungen aufweisen können, d.h. es können weitere Verstärkerstufen VS1 bis VS4 hinzukommen bzw.
30 Verstärkerstufen weggelassen werden. Der in Figur 1 dargestellte Basisverstärker BVA weist eine Ausgangsleistung in etwa von 20 dBm auf.

Das zu verstärkende optische Signal OS wird an den Eingang I
35 der optischen Basisverstärkeranordnung BVA geführt und mit Hilfe der ersten Verstärkerstufe VS1 eine rauscharme Vorverstärkung durchgeführt. Hierbei wird durch die erste Pumpquel-

le PQ1 ein erstes Pumpsignal PS1 mit beispielsweise einer Wellenlänge von 980 nm erzeugt und dieses über den ersten Einkoppelpunkt KP1 in die erste aktive Faser AF1 eingekoppelt. Das optische Signal OS erfährt aufgrund des in der ersten aktiven Faser AF1 eingekoppelten ersten optischen Pumpsignales PS1 eine optische Verstärkung und wird im Anschluß an die erste aktive Faser AF1 über den zweiten optischen Isolator OI2 an das variabel einstellbare Dämpfungsglied VDG übertragen.

10

Mit Hilfe des variabel einstellbaren Dämpfungsgliedes VDG wird eine Kompensation der dynamischen Gewinnverkipfung des optischen Signales OS durchgeführt und im Anschluß daran durch das in der zweiten Verstärkerstufe VS2 vorgesehene erste optische Filter FS1 eine Einebnung des optischen Spektrums des optischen Signales OS1 realisiert. Die Übertragung des optischen Signales OS wird in einer Übertragungsrichtung OER durchgeführt. Die zweite Verstärkerstufe VS2 wird im Gegensatz zur ersten Verstärkerstufe VS1 in einer Gegenübertragungsrichtung GER gepumpt, d.h. das in der zweiten Pumpquelle PQ2 erzeugte zweite Pumpsignal PS2 wird über den zweiten Einkoppelpunkt KP2 in Gegenübertragungsrichtung GER in die zweite aktive Faser AF2 eingekoppelt. Somit breitet sich das zweite optische Pumpsignal PS2, beispielsweise mit einer Wellenlänge von 1480 nm, vom Ausgang der zweiten aktiven Faser AF2 in Gegenübertragungsrichtung GER zum Eingang der zweiten aktiven Faser AF2 aus. Das am Ausgang des ersten optischen Filters F1 anliegende optische Signal OS wird in die zweite aktive Faser AF2 eingekoppelt und erfährt mit Hilfe des zweiten Pumpsignales PS2 in der zweiten aktiven Faser AF2 eine weitere Vorverstärkung. Nach der zweiten aktiven Faser AF2 wird das optische Signal OS über den dritten optischen Isolator OI3 an den Eingang der Dispersionskompensationseinheit DCF übertragen, in welcher eine Dispersionskompensation durchgeführt wird.

35

Im Anschluß an die Dispersionskompensation wird das optische Signal OS in die dritte Verstärkerstufe VS3 eingekoppelt, hierbei durchläuft das optische Signal OS den vierten optischen Isolator OI4 und wird über den dritten Einkoppelpunkt KP3 in die dritte aktive Faser AF3 eingekoppelt. Die dritte aktive Faser AF3 wird durch ein in der dritten Pumpquelle PQ3 erzeugtes drittes Pumpsignal PS3, beispielsweise mit einer Wellenlänge von 980 nm, in Übertragungsrichtung UER gepumpt. Hierzu wird das in der dritten Pumpquelle PQ3 erzeugte dritte Pumpsignal PS3 über den dritten Einkoppelpunkt KP3 in die dritte aktive Faser AF3 in Übertragungsrichtung UER eingekoppelt. Am Ausgang der dritten aktiven Faser AF3 wird das mit Hilfe des dritten Pumpsignales PS3 zusätzlich verstärkte optische Signal OS an den Eingang des zweiten optischen Filters F2 geführt. Mit Hilfe des zweiten optischen Filters F2 wird eine weitere Einebnung des Spektrums des optischen Signales OS durchgeführt.

Im Anschluß an die dritte Verstärkerstufe FS3 wird das optische Signal OS mit Hilfe der vierten Verstärkerstufe VS4 einer letzten Verstärkung unterzogen. Die vierte Verstärkerstufe VS4 weist eine vierte und fünfte Pumpquelle PQ41, PQ42 auf, wobei die vierte aktive Faser AF4 mit Hilfe der vierten Pumpquelle PQ41 in Übertragungsrichtung UER und mit Hilfe der fünften Pumpquelle PQ42 in Gegenübertragungsrichtung GER gepumpt wird. Das über den vierten optischen Einkoppelpunkt KP4 in die vierte aktive Faser AF4 eingekoppelte optische Signal OS erfährt in der vierten aktiven Faser AF4 durch das in der vierten Pumpquelle PQ41 erzeugte vierte optische Pumpsignal PS41 und durch das in der fünften Pumpquelle PQ42 erzeugte fünfte Pumpsignal PS42 eine zusätzliche Verstärkung. Im dargestellten Ausführungsbeispiel weisen das vierte und das fünfte Pumpsignal PS41, PS42 beispielsweise dieselbe Pumpwellenlänge von 1480 nm auf. Das derartig verstärkte optische Signal OS wird über den fünften Einkoppelpunkt KP5 und den fünften optischen Isolator OI5 an den Ausgang O der optischen Basisverstärkeranordnung BVA übertragen.

Zur Steigerung der Ausgangsleistung des in Figur 1 dargestellten Basisverstärkers BVA wird gemäß der Erfindung eine in Figur 2 dargestellte erste Hochleistungsverstärkerstufe HVS1 angeschaltet, d.h. an den Ausgang O der Basisverstärkeranordnung BVA wird der Eingang I der ersten Hochleistungsverstärkerstufe HVS1 angeschlossen.

In Figur 2 ist eine mögliche Ausführungsform der ersten Hochleistungsverstärkerstufe HVS1 dargestellt, welche eine aktive Faser AF, einen ersten Einkoppelpunkt EKP1, einen zweiten Einkoppelpunkt EKP2, eine erste Pumpsignalquelle PSQ1 und eine zweite Pumpsignalquelle PSQ2 aufweist. An den Eingang I der ersten Hochleistungsverstärkerstufe HVS1 ist der Eingang der aktiven Faser AF1 geführt und deren Ausgang ist an den Eingang des ersten Einkoppelpunktes EKP1 angeschlossen. Die aktive Faser AF kann beispielsweise mit Hilfe einer Erbium-dotierten Faser realisiert sein.

Für die Dotierung der aktiven Fasern AF mit Ionen von Selten-Erden-Elementen werden in der Praxis unter anderem folgende Elemente verwendet, wobei die unterschiedlich dotierten, aktiven Fasern AF in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen betrieben werden:

25

Er ³⁺	1530 - 1560 nm	(Erbium)
Pr ³⁺	1280 - 1310 nm	(Praseodym)
Nd ³⁺	1340 - 1370 nm	(Neodym)
Tm ³⁺	1450 - 1480 nm	(Thulium)
Yb ³⁺	1080 - 1110 nm	(Ytterbium)

30

Die Dotierung der für den Aufbau des erfindungsgemäßen optischen Hochleistungsstufe HVS1 vorgesehenen aktiven Fasern AF kann durch beliebige Ionen von Elementen aus der Gruppe der seltenen Erden oder weiterer laseraktiver Ionen erfolgen, wobei sich insbesondere eine vorteilhafte Ausgestaltung des er-

35

findungsgemäßen optischen Hochleistungsstufe HVS1 bei der Verwendung einer Er^{3+} -dotierten aktiven Faser AF ergibt.

Der Ausgang des ersten Einkoppelpunktes EKP1 der in Figur 2
5 dargestellten Hochleistungsverstärkerstufe HVS1 ist an den
Ausgang O der ersten Hochleistungsverstärkerstufe HVS1 ange-
geschlossen. Des Weiteren sind die erste Pumpsignalquelle PSQ1
und die zweite Pumpsignalquelle PSQ2 über den zweiten Einkop-
pelpunkt EKP2 mit dem ersten Einkoppelpunkt EKP1 verbunden.
10 Zur Erzeugung der für die Hochleistungsverstärkung erforder-
lichen Ausgangsleistung der ersten Hochleistungsverstärker-
stufe HVS1 wird in der ersten und in der zweiten Pumpsignal-
quelle PSQ1, PSQ2 ein erstes und zweites Pumpsignal PS1, PS2
erzeugt und über den ersten Einkoppelpunkt EKP2 sowie über
15 den ersten Einkoppelpunkt EKP1 in die aktive Faser AF in Ge-
genübertragungsrichtung GER eingespeist. Das in die aktive
Faser AF der ersten Hochleistungsstufe HVS1 eingekoppelte op-
tische Signal OS wird mit Hilfe der in der ersten und zweiten
Pumpsignalquelle PSQ1, PSQ2 erzeugten ersten und zweiten
20 Pumpsignales PS1, PS2 verstärkt und über den ersten Einkop-
pelpunkt EKP1 an den Ausgang O der ersten Hochleistungsstufe
HVS1 übertragen.

Durch das erfindungsgemäße Anschalten der ersten Hochleis-
25 tungsverstärkerstufe HVS1 an die Basisverstärkeranordnung BVA
ist eine Steigerung bzw. eine Erhöhung der Ausgangsleistung
der Basisverstärkeranordnung BVA um weitere 3 dB, d.h. zu
insgesamt 23 dBm, möglich. Im zweiten Aufrüstungsschritt bzw.
Kaskadierungsschritt wird zusätzlich eine zweite Hochleis-
30 tungsverstärkerstufe HVS2 an den Ausgang O der ersten Hoch-
leistungsverstärkerstufe HVS1 angeschaltet, mit der die ge-
samte kaskadierte optische Verstärkeranordnung - Basisver-
stärkeranordnung BVA + erste Hochleistungsverstärkerstufe
HVS1 + zweite Hochleistungsverstärkerstufe HVS2 - zu einer
35 Summenausgangsleistung von 27 dBm aufgerüstet wird.

Eine derartige zweite Hochleistungsverstärkerstufe HVS2 ist in Figur 3 beispielhaft dargestellt. Hierbei weist die zweite Hochleistungsverstärkerstufe HVS2 insbesondere ein optisches Filter F, eine erste, zweite, dritte und vierte Pumpsignalquelle PSQ1 bis PSQ4 sowie einen dritten Einkoppelpunkt EKP3, eine aktive Faser AF und einen vierten Einkoppelpunkt EKP4 auf. An den Eingang I der zweiten Hochleistungsverstärkerstufe HVS2 schließt sich das optische Filter F zur Einebnung des Spektrums des optischen Signals OS an. An den Ausgang des optischen Filters F ist der Eingang des dritten Einkoppelpunktes EKP3 angeschlossen, dessen Ausgang an den Eingang der aktiven Faser AF, beispielsweise eine Er^{3+} - Yb^{3+} -kodotierte aktive Faser, geführt ist. Des Weiteren sind an die Einkoppeleingänge des dritten Koppelpunktes EKP3 die erste und zweite Pumpsignalquelle PSQ1, PSQ2 angeschlossen. An den Ausgang der aktiven Faser AF ist der Eingang des vierten Einkoppelpunktes EKP4 angeschlossen, dessen Ausgang mit dem Ausgang O der zweiten Hochleistungsverstärkerstufe HSV2 verbunden ist. Analog zum dritten Einkoppelpunkt EKP3 sind auch an den Einkoppeleingänge des vierten Einkoppelpunktes EKP4 eine dritte und vierte Pumpsignalquelle PSQ3, PSQ4 angeschlossen.

Das mit Hilfe des optischen Filters F verarbeitete optische Signal OS wird über den dritten Einkoppelpunktes EKP3 in die aktive Faser der zweiten Hochleistungsverstärkerstufe HSV2 eingekoppelt und in der aktiven Faser AF verstärkt. Hierzu werden ein erstes und zweites Pumpsignal PS1, PS2 in der ersten und zweiten Pumpsignalquelle PSQ1, PSQ2 erzeugt und über den dritten Einkoppelpunkt EDP3 in Übertragungsrichtung UER in die aktive Faser AF eingekoppelt. Zusätzlich wird ein drittes und viertes Pumpsignal PS3, PS4 in der dritten und vierten Pumpsignalquelle PSQ3, PSQ4 erzeugt sowie über den vierten Einkoppelpunkt EKP4 in Gegenübertragungsrichtung GER in die aktive Faser AF eingekoppelte. Das derartig verstärkte optische Signal OS wird nach Verlassen der aktiven Faser AF

über den vierten Einkoppelpunkt EKP4 an den Ausgang 0 der zweiten Hochleistungsverstärkerstufe HSV2 übertragen.

Die nachgeschaltete erste und zweite Hochleistungsverstärkerstufe HSV1, HSV2 verfügen über einen geringen Gewinn, im dargestellten Ausführungsbeispiel von jeweils ca. 3 dB, woraus sich ein einfacher technischer Aufbau ergibt. Der Einsatz von optischen Isolatoren OI in den Hochleistungsverstärkerstufen HSV1, HSV2 ist aufgrund des geringen Gewinns nur in Ausnahmefällen erforderlich. Des Weiteren muß das zur Einebnung des Gewinnspektrum erforderliche optische Filter F nur geringen Schärfeforderungen genügen, weshalb derartige Filter besonders einfach und kostengünstig herstellbar sind.

Zweckmässigerweise verfügen die nachgeschalteten Hochleistungsverstärkerstufen HSV1, HSV2 über jeweils eine eigene Leistungs- bzw. Verstärkungsregelung - in den Figuren 1 bis 3 nicht dargestellt, welche beispielsweise als eine Kombination aus Summen-Ausgangsleistungsregelung und einer schnellen Gewinnregelung realisiert sein können. Die Gewinnregelung kann sowohl opto-elektronisch als auch rein optisch realisiert sein.

Die vorgeschlagene Konzept einer kaskadierbaren optischen Verstärkeranordnung eignet sich zur Steigerung der Ausgangsleistung von unterschiedlichen Verstärkertypen wie beispielsweise Booster-, Vor- sowie Inlineverstärkertypen. Bei Verstärkertypen die einen oder mehrere Zwischenabgriffe aufweisen, wie beispielsweise Inline-Verstärkern, kann das vorgeschlagene Konzept zusätzlich am Ausgang eines oder mehrerer Zwischenabgriffe eingesetzt werden, d.h. es werden bereits eine oder mehrere Hochleistungsverstärker HSV1, HSV2 dem Ausgang beispielsweise eines Zwischenabgriffes nachgeschaltet.

Patentansprüche

1. Kaskadierbare optische Verstärkeranordnung mit einer modular und in Einmodentechnik aufgebauten Basisverstärkeranordnung (BVA), die mindestens eine Verstärkerstufe (VS1 bis VS4)
5 aufweist, und
mit einer an die mindestens eine Verstärkerstufe (VS4) der Basisverstärkeranordnung (BVA) anschaltbaren Hochleistungsverstärkerstufe (HSV1) mit einer eigenen aktiven Faser (AF)
10 und mindestens einer Pumpsignalquelle (PSQ1, PSQ2).
2. Kaskadierbare optische Verstärkeranordnung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
15 daß mindestens eine weitere Hochleistungsverstärkerstufe (HVS2) an die an den Basisverstärkeranordnung (BVA) angeschlossene Hochleistungsverstärkerstufe (HVS1) anschließbar ist.
- 20 3. Kaskadierbare optische Verstärkeranordnung nach Anspruch 1 und 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Hochleistungsverstärkerstufen (HSV1, HSV2) jeweils eine eigene Verstärkungsregelung und/oder Leistungsregelung
25 aufweisen.
4. Kaskadierbare optische Verstärkeranordnung nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
30 daß die Verstärkungsregelung und/oder Leistungsregelung entweder optoelektronisch oder rein optisch realisiert ist.
5. Kaskadierbare optische Verstärkeranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
35 dadurch gekennzeichnet,
daß die mindestens eine Pumpsignalquelle (PSQ1, PSQ2, PSQ3, PSQ4) zum Pumpen der aktiven Fasern (AF) der

Hochleistungsverstärkerstufen (HVS1,HVS2) an den Eingang und den Ausgang der jeweiligen aktiven Faser (AF) anschließbar ist.

- 5 6. Kaskadierbare optische Verstärkeranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
daß zur Einebnung des Gewinnspektrums eines zu verstärkenden
optischen Signals (os) ein der aktiven Faser (AF) der Hoch-
10 leistungverstärkerstufen (HSV2) vorgeschaltetes Filter (F)
vorgesehen ist.

Zusammenfassung

Kaskadierbare optische Verstärkeranordnung

- 5 Die kaskadierbare optische Verstärkeranordnung weist eine modular und in Einmodentechnik aufgebaute Basisverstärkeranordnung (BVA) mit mindestens einer Verstärkerstufe (VS1 bis VS4) auf, an dessen mindestens eine Verstärkerstufe (VS4) erfindungsgemäß mindestens eine Hochleistungsverstärkerstufe
- 10 (HSV1) mit einer eigenen aktiven Faser (AF) und mit mindestens einer Pumpsignalquelle (PSQ1, PSQ2) angeschaltet ist. Hierdurch wird eine schrittweise Erhöhung der Ausgangsleistung einer bereits bestehenden Basisverstärkeranordnung (BVA) mit einem vertretbaren technischen Aufwand realisierbar.

15

Figur 2

Fig. 1

BVA

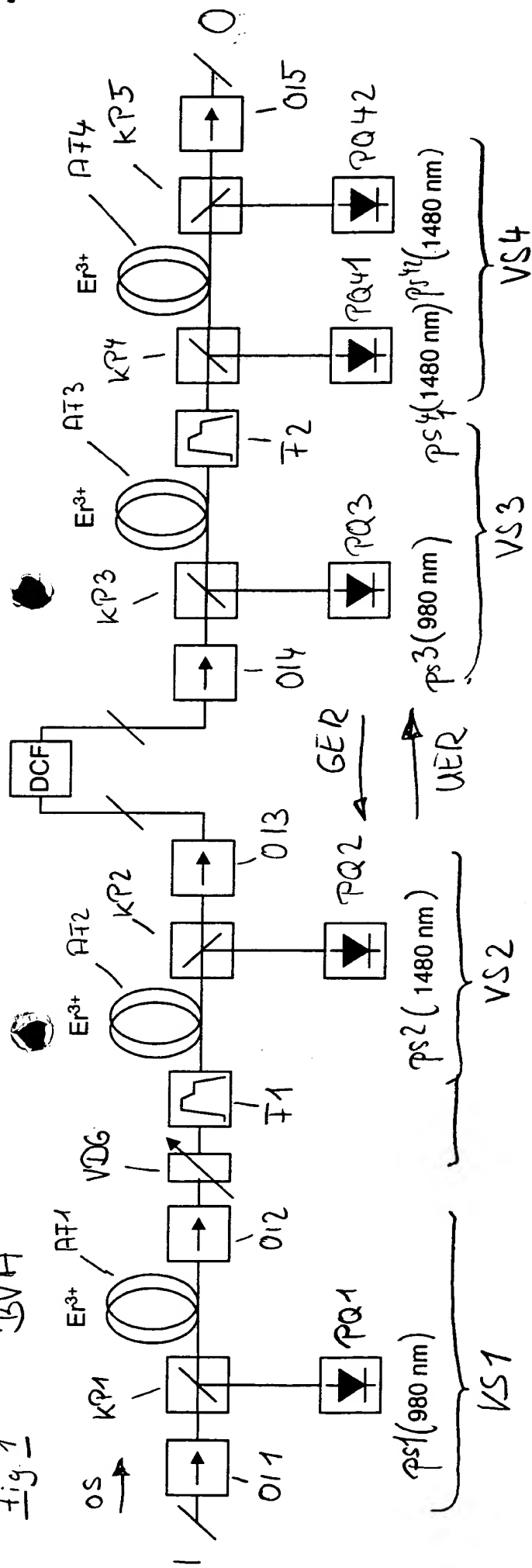


Fig. 2

HVS1

HVS2

HVS3

HVS4

HVS5

HVS6

HVS7

HVS8

HVS9

HVS10

HVS11

HVS12

HVS13

HVS14

HVS15

HVS16

HVS17

HVS18

HVS19

HVS20

HVS21

HVS22

HVS23

HVS24

HVS25

HVS26

HVS27

HVS28

HVS29

HVS30

HVS31

HVS32

HVS33

HVS34

HVS35

HVS36

HVS37

HVS38

HVS39

HVS40

HVS41

HVS42

HVS43

HVS44

HVS45

HVS46

HVS47

HVS48

HVS49

HVS50

HVS51

HVS52

HVS53

HVS54

HVS55

HVS56

HVS57

HVS58

HVS59

HVS60

HVS61

HVS62

HVS63

HVS64

HVS65

HVS66

HVS67

HVS68

HVS69

HVS70

HVS71

HVS72

HVS73

HVS74

HVS75

HVS76

HVS77

HVS78

HVS79

HVS80

HVS81

HVS82

HVS83

HVS84

HVS85

HVS86

HVS87

HVS88

HVS89

HVS90

HVS91

HVS92

HVS93

HVS94

HVS95

HVS96

HVS97

HVS98

HVS99

HVS100

HVS101

HVS102

HVS103

HVS104

HVS105

HVS106

HVS107

HVS108

HVS109

HVS110

HVS111

HVS112

HVS113

HVS114

HVS115

HVS116

HVS117

HVS118

HVS119

HVS120

HVS121

HVS122

HVS123

HVS124

HVS125

HVS126

HVS127

HVS128

HVS129

HVS130

HVS131

HVS132

HVS133

HVS134

HVS135

HVS136

HVS137

HVS138

HVS139

HVS140

HVS141

HVS142

HVS143

HVS144

HVS145

HVS146

HVS147

HVS148

HVS149

HVS150

HVS151

HVS152

HVS153

HVS154

HVS155

HVS156

HVS157

HVS158

HVS159

HVS160

HVS161

HVS162

HVS163

HVS164

HVS165

HVS166

HVS167

HVS168

HVS169

HVS170

HVS171

HVS172

HVS173

HVS174

HVS175

HVS176

HVS177

HVS178

HVS179

HVS180

HVS181

HVS182

HVS183

HVS184

HVS185

HVS186

HVS187

HVS188

HVS189

HVS190

HVS191

HVS192

HVS193

HVS194

HVS195

HVS196

HVS197

HVS198

HVS199

HVS200

HVS201

HVS202

HVS203

HVS204

HVS205

HVS206

HVS207

HVS208

HVS209

HVS210

HVS211

HVS212

HVS213

HVS214

HVS215

HVS216

HVS217

HVS218

HVS219

HVS220

HVS221

HVS222

HVS223

HVS224

HVS225

HVS226

HVS227

HVS228

HVS229

HVS230

HVS231

HVS232

HVS233

HVS234

HVS235

HVS236

HVS237

HVS238

HVS239

HVS240

HVS241

HVS242

HVS243

HVS244

HVS245

HVS246

HVS247

HVS248

HVS249

HVS250

HVS251

HVS252

HVS253

HVS254

HVS255

HVS256

HVS257

HVS258

HVS259

HVS260

HVS261

HVS262

HVS263

HVS264

HVS265

HVS266

HVS267

HVS268

HVS269

HVS270

HVS271

HVS272

HVS273

HVS274

HVS275

HVS276

HVS277

HVS278

HVS279

HVS280

HVS281

HVS282

HVS283

HVS284

HVS285

HVS286

HVS287

HVS288

THIS PAGE BLANK (USPTO)